

Family list

6 application(s) for: JP10161295 (A)

1 Exposure apparatus

Inventor: NISHIWAKI SEIJI [JP] ; ASADA JUNICHI [JP] (+1)
EC: G03F7/20T16; G03F7/20T18
Publication info: DE69722694 (T2) — 2003-12-18

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]
IPC: G03F7/20; G03F7/20; (IPC1-7): G03F7/20

2 Exposure apparatus

Inventor: NISHIWAKI SEIJI [JP] ; ASADA JUNICHI [JP] (+1)
EC: G03F7/20T16; G03F7/20T18
Publication info: DE69736022 (T2) — 2006-10-26

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]
IPC: G03F7/20; G03F7/20

3 Exposure apparatus

Inventor: NISHIWAKI SEIJI [JP] ; ASADA JUNICHI [JP] (+1)
EC: G03F7/20T16; G03F7/20T18
Publication Info: EP0797121 (A2) — 1997-09-24
EP0797121 (A3) — 1998-06-03
EP0797121 (B1) — 2003-06-11

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]
IPC: G03F7/20; G03F7/20; (IPC1-7): G03F7/20

4 Exposure apparatus

Inventor: NISHIWAKI SEIJI [JP] ; ASADA JUNICHI [JP] (+1)
EC: G03F7/20T16; G03F7/20T18
Publication info: EP1347338 (A1) — 2003-09-24
EP1347338 (B1) — 2006-05-31

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]
IPC: G03F7/20; G03F7/20; (IPC1-7): G03F7/20

5 EXPOSURE DEVICE

Inventor: NISHIWAKI SEIJI ; ASADA JUNICHI
(+1)
EC: G03F7/20T16; G03F7/20T18
Publication info: JP10161295 (A) — 1998-06-19
JP3735441 (B2) — 2006-01-18

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
IPC: G02B5/18; G03F1/08; G03F7/20; (+9)

6 Exposure equipment

Inventor: NISHIWAKI SEIJI [JP] ; ASADA JUNICHI [JP] (+1)
EC: G03F7/20T16; G03F7/20T18
Publication info: US5745221 (A) — 1998-04-28

Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]
IPC: G03F7/20; G03F7/20; (IPC1-7): G03B27/42;
(+1)

Data supplied from the *esp@cenet* database — Worldwide

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-161295
 (43)Date of publication of application : 19.06.1998

(51)Int.Cl. G03F 1/08
 G02B 5/18
 G03F 7/20
 H01L 21/027

(21)Application number : 09-058738 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD
 (22)Date of filing : 13.03.1997 (72)Inventor : NISHIWAKI SEIJI
 ASADA JUNICHI
 MATSUZAKI KEIICHI

(30)Priority

Priority number : 08 60525 Priority date : 18.03.1996 Priority country : JP
 08261488 02.10.1996 JP

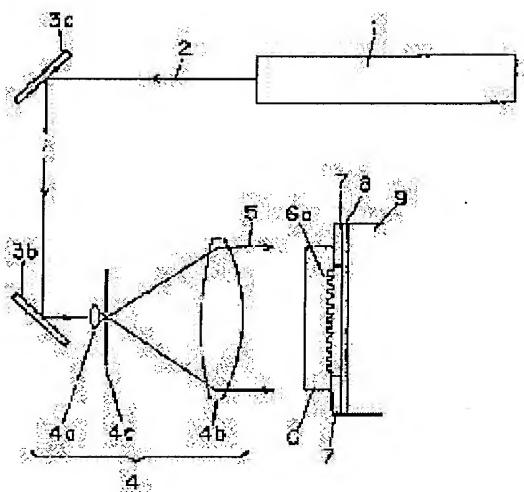
(54) EXPOSURE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make the pitch of a projection pattern on an exposed surface the wavelength of a light source or below.

SOLUTION: A laser beam 2 (wavelength λ) emitted from the light source 1 is reflected by mirrors 3a and 3b, to be guided to a beam expander optical system 4.

Further, the laser beam 2 is converged by a focusing lens 4a and passes through a pinhole 4c located in the focal plane of the focusing lens 4a, to be converted into a parallel luminous flux 5 whose beam diameter is expanded by a collimator lens 4b. Then, the parallel luminous flux 5 is made vertical incident on a phase shifter 6 constituted in such a manner that projecting and recessing parts are repeatedly formed on the light-emitting surface side of a parallel plate made of a transparent material having a refractive index of (n), to pass through the phase shifter 6. Consequently, +1st order diffracted light and -1st order diffracted light are obtained and interfere with each other on a photosensitive film facing the phase shifter 6 with a spacer 7, so that fine interference fringes are formed to expose the photosensitive film.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-161295

(43)公開日 平成10年(1998)6月19日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 3 F 1/08
G 0 2 B 5/18
G 0 3 F 7/20
H 0 1 L 21/027

識別記号

F I
G 0 3 F 1/08 A
G 0 2 B 5/18
G 0 3 F 7/20
H 0 1 L 21/30 5 0 2 P
5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平9-58738
(22)出願日 平成9年(1997)3月13日
(31)優先権主張番号 特願平8-60525
(32)優先日 平8(1996)3月18日
(33)優先権主張国 日本 (J P)
(31)優先権主張番号 特願平8-261488
(32)優先日 平8(1996)10月2日
(33)優先権主張国 日本 (J P)

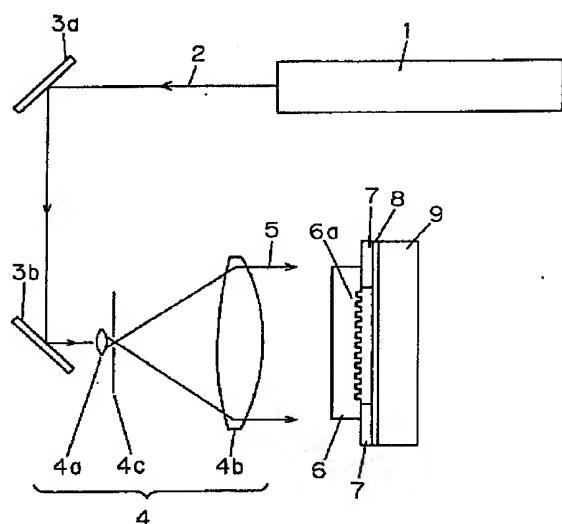
(71)出願人 000005821
松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地
(72)発明者 西脇 青児
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72)発明者 麻田 潤一
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(72)発明者 松▲ざき▼ 圭一
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内
(74)代理人 弁理士 松田 正道

(54)【発明の名称】 露光装置

(57)【要約】

【課題】露光面上の投影パターンのピッチが光源の波長
以下に出来ないと言う課題。

【解決手段】光源1を出射するレーザー光2(波長λ)
が、ミラー3a, 3bを反射し、ビームエクスパンダー
光学系4に導かれ、更にフォーカシングレンズ4aにより
集光し、フォーカシングレンズ4aの焦平面に位置する
ピンホール4cをすり抜け、コリメートレンズ4bによ
つてビーム径の拡大した平行光束5に変換され、この
平行光束5が屈折率nの透明材質で構成された平行平板
の出射面側に凹部と凸部が繰り返し形成された位相シフ
ター6に垂直入射し、透過し、その結果±1次の回折光
が発生し、スペーサー7を介して位相シフター6に対面
する感光膜上で±1次の回折光が干渉しあい、微細な干
渉縞を形成して感光膜を露光する構成。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザー光源と、

前記レーザー光源から出射する波長 λ のレーザー光を拡大し平行光束の平面波とするための拡大手段と、屈折率 n の透明材質により形成された板状部材と、前記板状部材に近接して置かれた、表面に感光膜が形成された露光基板とを備え、前記板状部材の露光基板側に面した表面には、凹部及び凸部が繰り返し形成されており、前記拡大手段により拡大された平面波が前記凹部又は凸部を透過することで 10 1次の回折光が発生するものであり、前記感光膜は、前記+1次の回折光と前記-1次の回折光とが互いに交差する位置に置かれており、前記回折光間の干渉により発生する干渉縞が前記感光膜を感光することを特徴とする露光装置。

【請求項2】 回折せずにそのまま透過する0次光の光量は、前記凹部又は凸部を透過する全ての光の光量に対する比が0.1以下であることを特徴とする請求項第1記載の露光装置。

【請求項3】 前記凹部の深さが、 $k \times \lambda / \{2(n-1)\}$ (但し、 $0.8 \leq k \leq 1.2$) であり、前記凹部又は凸部の断面が実質上矩形形状であり、前記凸部のピッチに対する前記凸部の幅の比が、 0.3 から 0.7 の間にあることを特徴とする請求項第1記載の露光装置。

【請求項4】 前記凹部又は凸部のピッチが、 λ と 2λ の間にあることを特徴とする請求項第1記載の露光装置。

【請求項5】 前記凹部又は凸部は、屈折率 n_0 (但し、 $n_0 > n$) の透明層に覆われており、前記透明層の膜厚は、前記凹部又は凸部のピッチより大きいことを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項6】 前記凹部の深さが、 $k \times \lambda / \{2(n_0-1)\}$ (但し、 $0.8 \leq k \leq 1.2$) であり、前記凹部又は凸部の断面が実質上矩形形状であり、前記凸部のピッチに対する前記凸部の幅の比が、 0.3 から 0.7 の間にあることを特徴とする請求項第5記載の露光装置。

【請求項7】 レーザー光源と、前記レーザー光源から出射する波長 λ のレーザー光を拡大し平行光束の平面波とするための拡大手段と、屈折率 n の透明材質により形成された板状部材と、前記板状部材に近接して置かれた、表面に感光膜が形成された露光基板とを備え、

$$R = 2 k_1 \lambda / N_A$$

ただし、 k_1 は露光・現像プロセスの条件によって決まる定数であり、一般に $0.5 \sim 0.8$ 前後の値をなす。

【0005】一方、結像光学系の焦点深度 Z は次式で与

$$Z = \lambda / 2 N_A^2$$

波長 λ は光源の種類によって一義的に決まり、一般には 435 nm (g線) や 365 nm (i線) が用いられる。光源の短波長化は解像度の向上を図る最も素直な方

* 前記板状部材の露光基板側に面した表面には、凹部及び凸部が繰り返し形成されており、前記拡大手段により拡大された平面波が前記凹部又は凸部を透過することで 0 次及び ± 1 次から $\pm q$ 次 ($q \geq 1$) までの回折光が発生するものであり、前記光の内、偶数次の回折光の光量和と、前記光の内、奇数次の回折光の光量和との比が 0.5 から 2.0 の間にあり、前記感光膜はこれらの回折光が互いに交差する位置に置かれており、前記回折光間の干渉により発生する干渉縞が前記感光膜を感光することを特徴とする露光装置。

【請求項8】 前記板状部材の前記表面上に形成された前記凹部及び/又は前記凸部は直線状、または円状、または曲線状に形成されていることを特徴とする請求項第1～7の何れか一つに記載の露光装置。

【請求項9】 前記凹部又は凸部のピッチが、前記表面上の位置により異なることを特徴とする請求項第1～7の何れか一つに記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

20 【発明の属する技術分野】 本発明は、微細なパターンを露光出来る露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来の技術について、例えば微小光学ハンドブック (応用物理学会編集、朝倉書店出版、1995) p. 690に記載の投影露光装置があり、この装置に基づいて説明する。図110は従来の露光装置の構成図を示す。光源14からの光束はビームコンプレッサー15 (またはビームエクスパンダー) で適当な光束に変換されてホモジナイザー16に入射する。ホモジナイザ16は $3 \sim 6 \text{ mm}$ 角のレンズアレイより構成されており、照明系の照度分布を均一にするとともに、射出端面付近で二次光源17を形成する。二次光源17からの光は照明レンズ18で露光パターンが描かれているレチクル19を照明し、結像レンズ20で露光面22上に結像する。このとき二次光源17の像は結像レンズ20の入射瞳面21にできる。

【0003】 この従来の露光装置の解像度 R は、照明光の波長を λ 、結像光学系の開口数を N_A (Numerical Aperture) として次式で表される。

40 【0004】

【数1】

$$\dots \text{式1}$$

* えられる。

【0006】

【数2】

$$\dots \text{式2}$$

法であるが、高い値の N_A の採用でも解像度向上は可能である。しかし、高 N_A 化は式(2)に基づき焦点深度を浅くし露光位置の誤差余裕をなくすので、せいぜい

0.5～0.6程度が限界である。従って、従来の露光装置の解像度Rは $k_1 = 0.5$ 、NA=0.6としてピッチで 1.6λ 程度が限界であった。

【0007】また、この解像限界を向上させる意味で、位相シフト法と呼ばれる手法も提案されている（微小光学ハンドブックのp.694に記載）。

【0008】これは、従来の露光装置に於けるレチクル上に解像力を向上させるための位相シフターを形成したものである。図12(A)は、従来の露光装置の原理図を示し、図12(B)は、従来の露光装置に於ける位相シフト法の原理図を示す。従来法でのレチクル19は透明基板19aとマスク19bで構成されるが、このときの露光面上での光振幅は23、光強度は24で示される。これに対し位相シフト法では、マスク間の隙間に一つおきの割合で位相シフター19cを形成し、位相シフター19cを透過する光の位相を π だけ遅らすことで、露光面上で23a、24aに示す光振幅、光強度を得ることができ、従来法に比べコントラストを向上させることができる。

【0009】またマスク19bを用いない方法もあり、図13はその原理図を示す。この場合、レチクル19は透明基板19aと位相シフター19cで構成される。位相シフター19cを透過する光の位相を π だけ遅らすことで、露光面上で23b、24bに示す光振幅、光強度*

$$\sin\theta = \lambda/\Lambda$$

これらの透過、回折光は結像レンズ20に入射してそれぞれ26、26A、26Bのように瞳面21上に結像する。0次光の結像点は光軸27上有るが、±1次光は進行方向が光軸27に比べ θ だけ傾いているため、光軸上からbだけ離れた位置に結像する。bの大きさは $\sin\theta$ に比例するので、周期 Λ がある値よりも小さくなると、±1次光の結像点は瞳面の開口外に位置し($b > a$)、瞳の開口外の領域で遮光されてしまう。露光面上の投影パターンは瞳面21を透過する光によって形成されるので、透過光の一部が跳られることは投影パターンの解像度の劣化につながる。

【0015】この様なことから、位相シフト法の効果は、大きく見積もっても、解像力が3～4割増しとなるのが限界である。即ち、露光装置の解像度を、露光面22上に形成される投影パターンのピッチに置き換えて表現すると、 1.2λ 程度のピッチを形成するのが限界であると言える。

【0016】以上の解像度の劣化は、位相シフター19cの有無に関わらず、本質的に発生し、位相シフター19cを用いない場合は、更に解像度は落ちる。

【0017】本発明は、従来の露光装置のこの様な課題を考慮し、露光面上の露光パターンのピッチが光源の波長以下である微細パターンを露光出来る高解像度の露光装置を提供することを目的とする。

【0018】

*を得ることができ、コントラストの向上が可能である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかし、このような従来の露光装置に於て、位相シフター19cの有無に関わらず、次の様な課題があった。

【0011】以下、より解像度の高い、位相シフター19cを有する露光装置の場合を例にとり、その課題について説明する。

【0012】すなわち、この場合、図13に示した原理

10 に従うと、露光面上での光強度24bの周期はレチクル上の位相シフター19cの周期の半分であり、位相シフト法の採用により露光装置の解像度は、倍になるはずである。しかし、現実にはレチクル19と露光面の間に結像光学系が介在するため、理論通りの解像度が得られない。

【0013】その理由は、つぎの通りである。即ち、図14は位相シフター付きのレチクルを透過した光の光路

20 を示している。レチクル19に入射する光25(波長 λ)は位相シフター19cを透過することでそのまま透過する光(0次光)と回折する光(±1次光)に分離する。位相シフター19cの周期を Λ とすると、回折光の回折角 θ は次式で与えられる。

【0014】

【数3】

$$\dots \text{式3}$$

【課題を解決するための手段】請求項1記載の本発明は、レーザー光源と、前記レーザー光源から出射する波長 λ のレーザー光を拡大し平行光束の平面波とするための拡大手段と、屈折率nの透明材質により形成された板

30 状部材と、前記板状部材に近接して置かれた、表面に感光膜が形成された露光基板とを備え、前記板状部材の露光基板側に面した表面には、凹部及び凸部が繰り返し形成されており、前記拡大手段により拡大された平面波が前記凹部又は凸部を透過することで±1次の回折光が発生するものであり、前記感光膜は、前記±1次の回折光と前記±1次の回折光とが互いに交差する位置に置かれており、前記回折光間の干渉により発生する干渉縞が前記感光膜を感光する露光装置である。

【0019】この様な構成により、例えば感光膜上では上記凹部又は凸部のピッチの半分のピッチを持つ干渉縞がコントラストよく形成されるので、高解像の露光装置が実現出来る。

【0020】請求項5記載の本発明は、上記凹部又は凸部は、屈折率n₀(但し、n₀>n)の透明層に覆われており、前記透明層の膜厚は、前記凹部又は凸部のピッチより大きい露光装置である。

【0021】この様な構成により、±2次以上の回折光の発生を抑えることが出来る。

【0022】請求項7記載の本発明は、レーザー光源と、前記レーザー光源から出射する波長 λ のレーザー光

を拡大し平行光束の平面波とするための拡大手段と、屈折率nの透明材質により形成された板状部材と、前記板状部材に近接して置かれた、表面に感光膜が形成された露光基板とを備え、前記板状部材の露光基板側に面した表面には、凹部及び凸部が繰り返し形成されており、前記拡大手段により拡大された平面波が前記凹部又は凸部を透過することで0次及び±1次から±q次($q \geq 1$)までの回折光が発生するものであり、前記光の内、偶数次の回折光の光量和と、前記光の内、奇数次の回折光の光量和との比が0.5から2.0の間にあり、前記感光膜はこれらの回折光が互いに交差する位置に置かれており、前記回折光間の干渉により発生する干渉縞が前記感光膜を感光する露光装置である。

【0023】この様な構成により、例えば感光膜上では上記凹部又は凸部のピッチと当ピッチを持つ干渉縞がコントラストよく形成されるので、高解像の露光装置が実現出来る。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態を図1から図7に基づいて説明する。

【0025】図1は本発明の実施の形態における露光装置の構成を示す。同図に示す様に、本露光装置は、レーザー光源1、反射ミラー3a、3b、ビームエクスパンダー光学系4、位相シフター6、スペーサー7、露光基板9で構成されている。図1に於いて、ArレーザーやHe-Cdレーザーなどの光源1から出射するレーザー光2(波長λ)はミラー3a、3bを反射し、ビームエクスパンダー光学系4に導かれる。

【0026】ビームエクスパンダー光学系4はフォーカシングレンズ4a、コリメートレンズ4b、ピンホール4cから構成され、レーザー光はフォーカシングレンズ4aにより集光し、フォーカシングレンズ4aの焦平面に位置するピンホール4cをすり抜け、コリメートレンズ4bによってビーム径の拡大した平行光束5に変換される。このとき、ピンホール4cは、レーザーのスペックルノイズを除去する作用をなす。平面波の平行光束5は屈折率nの透明材質で形成された平行平板状の位相シフター6に垂直入射し、これを透過する。

【0027】位相シフター6の出射面側には、平行平板をエッ칭するなどの方法で、深さ $\lambda/(2(n-1))$ の周期的凹凸構造6a(尚、周期的凹凸構造とは、平板上に凹部と凸部が所定のピッチにより繰り返し形成されている構造を言う)が形成されている。そのため、平面波は、この周期構造を透過することでπの位相差を周期的に繰り返す波面に変換され、その結果±1次の回折光が発生する。

【0028】露光基板9の表面には感光膜8が積層されており、この感光膜上で±1次の回折光が干渉しあい、微細なピッチの干渉縞を形成して感光膜を露光する。感光膜8はスペーサー7を介して位相シフター6に対面し

ており、周期構造面6aと感光膜8の間はスペーサー7の厚さ分の隙間が存在する。

【0029】図2は、本発明の第1の実施の形態における露光装置の位相シフターの断面図を示している。

【0030】図2に示す様に、周期的凹凸構造6aのピッチをΛ、深さをhとし、凹凸構造が矩形の場合、凸部の幅をεΛで与え、周期的構造面の中心からその法線方向に沿って距離zの位置に原点Oを置き、点Oを通り周期的構造の格子ベクトル(グレーティング方向に直交するベクトル)に沿った方向に座標軸xを考える。

【0031】図3(A)、図3(B)は、本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第1説明図であり、 $\lambda = 0.4579 \mu m$ 、凹凸構造を $\Lambda = 0.8 \mu m$ 、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\epsilon = 0.5$ の矩形状として解析した計算結果である。

【0032】図3(A)は $z = \lambda$ の位置での、x座標に沿った光強度分布である。凹凸構造10のピッチが $0.8 \mu m$ であるにも関わらず、半ピッチ($0.4 \mu m$ ピッチ)の強度分布パターン11が得られている。尚、凹凸構造10は、説明の便宜上、図2に示す周期的凹凸構造6aを模式的に表し、図3(A)の横軸の目盛りに合わせて点線で描いたものである。尚、後述する図4(A)～図6(A)についても同様の趣旨により、点線で描いた凹凸構造10が描かれている。

【0033】この強度分布の $x = 0 \mu m$ に於ける光強度P1と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度P2が距離zとどのような関係にあるかをプロットしたのが図3(B)であり、実線12は光強度P1、破線13は光強度P2に対応する。いずれも凹凸構造のx軸方向に於ける始終点位置(図2に示す、凹凸構造6aの境界線601、602)で発生する境界回折波の影響でわずかなうねりを有するが、おおむねzによらず等しく均一な値をなす。

【0034】すなわち、感光膜8の位置(スペーサー7の厚さ分の隙間)に誤差があっても、強度分布パターンの劣化はなく、露光のコントラストは良好である。従つて、露光基板の位置設定は半導体プロセスで用いられる高価な高精度ステッパーである必要がなく、本実施の形態のごとくスペーサー7を挟んで押し当てる程度の位置決めでよい。

【0035】図4(A)、図4(B)は本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第2説明図であり、 $\lambda = 0.4579 \mu m$ 、凹凸構造を $\Lambda = 0.8 \mu m$ 、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\epsilon = 0.4$ の矩形状として解析した計算結果である。

【0036】図4(A)は $z = \lambda$ の位置での、x座標に沿った光強度分布である。図3(A)、(B)と同様、凹凸構造10のピッチが $0.8 \mu m$ であるにも関わらず半ピッチ($0.4 \mu m$ ピッチ)の強度分布パターン11

が得られるが、凹凸構造10のデューティ比 ε が0.5からずれることで、 $x = 0 \mu m$ に於ける光強度 P_1 と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度 P_2 の間に差異が生じている。

【0037】これらの光強度 P_1 、 P_2 が距離 z とどのような関係にあるかをプロットしたのが図4(B)であり、実線12は光強度 P_1 、破線13は光強度 P_2 に対応する。光強度 P_1 、 P_2 とも z に依存した逆位相のうねりを有しているが、最悪条件下でも1.0:0.6程度の強度比である。

【0038】図5(A)、図5(B)は本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第3説明図であり、 $\lambda = 0.4579 \mu m$ 、凹凸構造を $\Lambda = 0.8 \mu m$ 、 $h = 5\lambda / \{6 \times 2(n-1)\}$ 、 $\varepsilon = 0.5$ の矩形状として解析した計算結果である。

【0039】図5(A)は $z = \lambda$ の位置での、 x 座標に沿った光強度分布である。図3(A)、(B)と同様、凹凸構造10のピッチが $0.8 \mu m$ であるにも関わらず半ピッチ($0.4 \mu m$ ピッチ)の強度分布パターン11が得られるが、凹凸構造10の深さが $\lambda / \{2(n-1)\}$ からずれることで、 $x = 0 \mu m$ に於ける光強度 P_1 と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度 P_2 の間に差異が生じている。

【0040】これらの光強度 P_1 、 P_2 が距離 z とどのような関係にあるかをプロットしたのが図5(B)であり、実線12は光強度 P_1 、破線13は光強度 P_2 に対応する。光強度 P_1 、 P_2 とも z に依存した逆位相のうねりを有しており、最悪条件下では1.0:0.4程度の強度比である。

【0041】図6(A)、図6(B)は本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第4説明図であり、 $\lambda = 0.4579 \mu m$ 、凹凸構造を $\Lambda = 0.8 \mu m$ 、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$ の正弦波形状として解析した計算結果である。

【0042】図6(A)は $z = \lambda$ の位置での、 x 座標に沿った光強度分布である。図3(A)、(B)と同様、*

$$\sin \theta_1 = \lambda / \Lambda_1$$

【0048】

$$\sin \theta_2 = \lambda / \Lambda_2$$

点 Q_1 で回折した+1次の回折光と点 Q_2 で回折した-1次の回折光が露光面8上の点 Q_{12} で交差するとすれば、2光束干渉の原理により点 Q_{12} 上で干渉縞を形成する。★

$$x_3 = x_1 + (x_2 - x_1) \tan \theta_1 / (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) \quad \dots \text{式6}$$

また、点 Q_{12} での干渉縞のピッチ Λ_{12} は式(4)、式(5)より次式で与えられる。

$$\Lambda_{12} = \lambda / (\sin \theta_1 + \sin \theta_2) = \Lambda_1 \Lambda_2 / (\Lambda_1 + \Lambda_2) \quad \dots \text{式7}$$

従って、均一ピッチの場合($\Lambda_1 = \Lambda_2$)には $\Lambda_{12} = \Lambda_1 / 2$ となり、周期的構造6aの半ピッチの強度分布パターンが得られることが分かる。又、 $\Lambda_1 \leq \lambda$ 、 $\Lambda_2 \leq \lambda$ で

* 凹凸構造10のピッチが $0.8 \mu m$ であるにも関わらず半ピッチ($0.4 \mu m$ ピッチ)の強度分布パターン11が得られるが、凹凸構造10の断面形状が矩形形状からずれることで、 $x = 0 \mu m$ に於ける光強度 P_1 と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度 P_2 の間に大きな差異が生じている。

【0043】これらの光強度 P_1 、 P_2 が距離 z とどのような関係にあるかをプロットしたのが図6(B)であり、実線12は光強度 P_1 、破線13は光強度 P_2 に対応する。光強度 P_1 、 P_2 とも z に依存した逆位相の大きなうねりを有しており、最悪条件下では1.0:0.15程度の強度比である。

【0044】露光基板位置の誤差余裕を考慮する場合、図3(A)～図6(B)に示したことから分かるように、露光のコントラストを最適にするには凹凸構造の断面形状が、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\varepsilon = 0.5$ の矩形形状であることが好ましく、断面形状を決定する、各パラメータの許容範囲としては、 $0.3 \leq \varepsilon \leq 0.7$ 、 $0.8 \leq 2(n-1)h / \lambda \leq 1.2$ が上げられる。即ち、凹部の深さ h は、 $k \times \lambda / \{2(n-1)\}$ (但し、 $0.8 \leq k \leq 1.2$)であれば良い。

【0045】次に、図7は本発明の第1の実施の形態における露光装置の、位相シフター6上の凹部又は凸部のピッチと露光パターンのピッチとの関係を示す原理説明図である。即ち、同図を参照しながら、凹部又は凸部のピッチと露光パターンのピッチとの関係について説明する。

【0046】位相シフター6の周期的構造面6aに垂直入射する波長 λ の光5は周期的構造を透過した後回折して、±1次の回折光5A、5Bが発生する。周期的構造面6a上の点 Q_1 の位置($x = x_1$)での周期的構造のピッチを Λ_1 、点 Q_2 の位置($x = x_2$)での周期的構造のピッチを Λ_2 とすると(Λ_1 、 Λ_2 は、位相シフター6上の凹部又は凸部のピッチを表している)、点 Q_1 、 Q_2 に於ける回折光の回折角は次式で与えられる。

【0047】

【数4】

$$\dots \text{式4}$$

※ ※ 【数5】

$$\dots \text{式5}$$

★点 Q_{12} の位置($x = x_3$)は次式で与えられる。

【0049】

【数6】

$$\tan \theta_1 / (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) \quad \dots \text{式6}$$

★ 【0050】

【数7】

ある限り回折光が発生するので、強度分布パターンの最小ピッチ(解像度の限界)は $\Lambda_{12} \geq \lambda / 2$ まで可能である。すなわち、従来例に於ける露光装置に比べ2倍以上

の解像度が得られる。

【0051】ピッチが位置により異なる場合 ($\Lambda_2 = \Lambda_1 (1 + \Delta)$) 点 Q_{12} に対応した周期的構造面上の点を Q_3 とし、この位置 ($x = x_3$) での周期的構造のピッチを*

$$\Lambda_3 = (\Lambda_1 \tan \theta_2 + \Lambda_2 \tan \theta_1) / (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) \quad \dots \text{式8}$$

従って $\Delta \ll 1$ の場合 (露光位置が周期的構造面に近接している場合は $\Delta \ll 1$ の関係が十分成立) には、 $\tan \theta_2 = \tan \theta_1 (1 - \Delta / \cos^2 \theta_1)$ より次式が成立。*

$$\Lambda_3 = \Lambda_1 (1 + \Delta / 2) \quad \dots \text{式9}$$

一方、 $\Delta \ll 1$ の場合には、式 (7) より干渉縞のピッチ $\Lambda_{12} = \Lambda_1 (1 + \Delta / 2) / 2$ が次式に近似できる。

従って、干渉縞のピッチ Λ_{12} はそれに対応した周期的構造面上の位置での周期的構造のピッチ Λ_3 の半分に相当し、ピッチが位置により異なる場合でも、半ピッチの関係が精度よく守られる。このように、従来例の露光装置ではレチクル上の露光パターンを歪みなく露光面上に投影するために高精度の結像レンズを必要としたが、本実施の形態では露光位置を周期的構造面 (即ち、平板上に凹部と凸部が所定のピッチにより繰り返し形成されている構造面) に近接させるだけで歪みのない半ピッチのパターニングがなされることになる。

【0055】なお、露光面 8 上で干渉縞が形成されるのは、2 光束が互いに交差する領域に限られ、周期的構造の始点 A と終点 B から発生する回折光の交点を C すると、露光は三角形 ABC に囲まれ、周期的構造に近接し☆

$$I_0 / I_1 = \pi^2 \{1 - 2\varepsilon(1 - \varepsilon)(1 - \cos \delta)\} / \{2(1 - \cos \delta) \sin^2 \pi \varepsilon\} \quad \dots \text{式11}$$

【0058】

$$I_2 / I_1 = \cos^2 \pi \varepsilon \quad \dots \text{式12}$$

ただし、 δ は次式に従う。

【0059】

$$\delta = 2\pi(n-1)h / \lambda$$

図3 (A)、図3 (B) の条件 ($h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\varepsilon = 0.5$) では $\lambda < \Lambda < 2\lambda$ であり、2次光は存在せず、式 (11) から0次光も $I_0 = 0$ である。かりに $2\lambda < \Lambda$ であっても式 (12) から2次光も $I_2 = 0$ である。

【0060】一方、図4 (A)、図4 (B) の条件 ($h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\varepsilon = 0.4$) でも $\lambda < \Lambda < 2\lambda$ で2次光は存在しないが、 $I_0 / I_1 = 0.11$ であり、0次光が発生する ($2\lambda < \Lambda$ になると式 (12) から2次光も発生する)。

【0061】この様に露光面の位置によらず良好なコントラストの干渉縞を得るために、0次光量の全回折光量に対する比が小さいこと (例えば $I_0 / (I_0 + 2I_1) \leq 0.1$) が条件といえる。

【0062】次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。

【0063】第2の実施の形態は周期的構造の周期幅、即ち、凹部又は凸部のピッチ Λ が、 $\lambda < \Lambda < 2\lambda$ に限定

* Λ_3 とすると、ピッチの変化が x に関して連続であるとして Λ_3 は次式に近似できる。

【0052】

【数8】

$$\Lambda_3 = (\Lambda_1 \tan \theta_2 + \Lambda_2 \tan \theta_1) / (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) \quad \dots \text{式8}$$

※ 【0053】

【数9】

$$\Lambda_{12} = \Lambda_1 (1 + \Delta / 2) \quad \dots \text{式9}$$

★ 【数10】

$$\Lambda_{12} = \Lambda_1 (1 + \Delta / 2) / 2 \quad \dots \text{式10}$$

☆た領域に限られる。

【0056】周期的構造面 6a を透過する光が0次光 (回折せずに透過する成分) やその他の次数の光を含む場合、点 Q_{12} での干渉は多光束間でなされるので、干渉縞のコントラストは劣化し、またそのコントラストは露光面位置にも関係してくる。図3 (A)、(B) の例で良好なコントラストの干渉縞が得られたのは、以下に説明するように、土 1 次以外の回折光が発生しないためである。一般に図2で示した矩形断面の位相シフターを透過することで発生する n 次回折光の強度を I_n として各回折光の強度比は次式の通りである。

【0057】

【数11】

$$I_0 / I_1 = \pi^2 \{1 - 2\varepsilon(1 - \varepsilon)(1 - \cos \delta)\} / \{2(1 - \cos \delta) \sin^2 \pi \varepsilon\} \quad \dots \text{式11}$$

◆ ◆ 【数12】

$$I_2 / I_1 = \cos^2 \pi \varepsilon \quad \dots \text{式12}$$

30* 【数13】

*

$$\delta = 2\pi(n-1)h / \lambda$$

される以外は第1の実施の形態と全く同一であるので、第1の実施の形態と同じ図面を引用し、重複した説明は省略する。

【0064】第1の実施の形態では周期的凹凸構造の断面を矩形としたが、実際には凹凸の境で、だれが存在し、例えば図8に示すような台形状断面となる。図8において、位相シフター6の凹部の底面PQ、凸部の上面RSに入射する光a、bは界面をそのまま透過するが、斜面部QR、STに入射する光c、dはこの面を全反射し、凸部の上面RSや対向する斜面部ST、QRの界面を透過する。

【0065】従って光c、dが光aやbに重畳するため、透過光の位相変調だけでなく振幅変調も乱される。

(式11)、(式12)はシフターを位相格子とし、位相変調だけを考慮して得られた結果であり、位相変調が乱され、これに振幅変調が加わる場合にはこれらの関係式は成り立たない。(表1)は $\Lambda = 1.0 \mu\text{m}$ 、 $n = 1.5$ 、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\lambda = 0.4579 \mu\text{m}$

mの仕様をして試作したシフターを透過する光の各回折光強度を評価した実験結果を示している。
【0066】尚、(表1)にその結果を示した実験は、
後述する(表2)に示す実験結果と比較するための比較*

位相シフターを透過する光の各回折光強度を評価した実験結果	
回折次数	光強度
-2次	$I_{-2} = 310 \text{ mW}$
-1次	$I_{-1} = 800 \text{ mW}$
0次	$I_0 = 80 \text{ mW}$
1次	$I_1 = 800 \text{ mW}$
2次	$I_2 = 330 \text{ mW}$

【0068】 $I_0/I_1 (=0, 1)$ がゼロに近いので $\delta = \pi$ かつ $\varepsilon = 0, 5$ が近似的に成り立ち $I_2/I_1 = 0$ のはずだが、実際の $I_2/I_1 (=0, 4)$ は異常に大きく、(式11)と(式12)の連立が難しい。この矛盾は図8で示したような全反射による位相変調、振幅変調の乱れの効果が存在するためである。

【0069】従って、0次光を無くしたにも関わらず、強い2次光が存在するため、干渉パターンは1次/2次の間の干渉によるシフター周期の等倍が支配的であり、半ピッチ化が実現できない。

【0070】しかし、第2の実施の形態では周期幅を $\lambda < \Lambda < 2\lambda$ に限定することを特徴としている。この時、1次までの回折光が発生して2次以上の回折光は原理的に存在しない。

【0071】仮に図8に示した如く、斜面部の存在により透過光の光分布が乱される場合でも、2次回折光は存在しない。0次光を消滅させる条件は式(11)の近傍に必ず存在するので、±1次以外の回折光の発生をほぼ完全に抑えられる。

【0072】(表2)は $\Lambda = 1, 0 \mu\text{m}$ 、 $n = 1, 5$ 、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$ 、 $\lambda = 0, 5145 \mu\text{m}$ の仕様をして試作したシフターを透過する光の各回折光強度を評価した実験結果を示している。

【0073】

【表2】

位相シフターを透過する光の各回折光強度を評価した実験結果	
回折次数	光強度
-2次	$I_{-2} = 0 \text{ mW}$ (存在せず)
-1次	$I_{-1} = 780 \text{ mW}$
0次	$I_0 = 40 \text{ mW}$
1次	$I_1 = 790 \text{ mW}$
2次	$I_2 = 0 \text{ mW}$ (存在せず)

【0074】この実験では、理論通り±1次以外の回折光の発生をほぼ完全に抑えることができ、顕微鏡観察で半ピッチの強度分布パターンが確認出来た。

【0075】次に、本発明の第3の実施の形態を説明する。

【0076】第3の実施の形態は位相シフターの構成が異なる以外は第1の実施の形態と全く同一である。

第1の実施の形態と同じ図面を引用し、重複した説明は省略する。

【0077】図9は本発明の第3の実施の形態における露光装置の、位相シフターの断面図を示している。図9において、位相シフター表面は屈折率 n_0 ($n_0 > n$ 、 n はシフター6の屈折率) の透明層6bに覆われており、凹凸の高さを h として屈折率 n_0 は次の関係式を満たす。

す。

【0078】

$$h = \lambda / \{2(n_0 - n)\}$$

位相シフター6の凹部の底面PQ、凸部の上面RSに入射する光a、bは透明層6bとの界面をそのまま透過する。また斜面部QR、STに入射する光c、dは、 $n_0 > n$ の関係から斜面部での全反射は無くなり、界面をそのまま屈折透過し、一部がc'、d'のように反射する。光c'、d'は凸部RSや対向する斜面部ST、QRの界面を透過して光aやbに重畳するが、光量が小さいのでその影響度も小さい。従って透明層6bの存在により位相変調、振幅変調の乱れが抑えられるので、 $2\lambda < \Lambda$ の場合でも(式11)、(式12)で示した関係式※

* 【数14】

$$\dots \text{式14}$$

※が成り立ち、±1次以外の回折光の発生を抑えることができる。

【0079】(表3)は(表1)で示したサンプルにZnS($n_0 = 2.0$)を成膜し(膜厚 $2\mu\text{m}$)、表面に残ったわずかな凹凸をZP法によるUV樹脂の充填で平滑化して評価した実験結果を示している(測定波長は $\lambda = 0.488\mu\text{m}$)。

【0080】

【表3】

位相シフターを透過する光の各回折光強度を評価した実験結果	
回折次数	光強度
-2次	$I_{-2} = 200\text{mW}$
-1次	$I_{-1} = 370\text{mW}$
0次	$I_0 = 300\text{mW}$
1次	$I_1 = 420\text{mW}$
2次	$I_2 = 200\text{mW}$

【0081】この実験では、±1次回折光の強度に比べ他の回折光の強度は十分小さく抑えられており、顕微鏡観察でも半ピッチの強度分布パターンが確認出来た。尚、凹部の深さhは、 $\lambda / \{2(n_0 - n)\}$ である必要はなく、±1次以外の回折光の発生を抑えられさえすれば良い。

【0082】次に、請求項7に記載の本発明の一実施の形態について説明する。

【0083】尚、本実施の形態は、従来の露光装置の解像度を改善するものではないが、露光面上に形成した干涉縞を用いて、パターンを形成するものである。

【0084】本実施の形態は位相シフターの断面仕様が異なる以外は第1の実施の形態と全く同一であるので、第1の実施の形態と同じ図面を引用し、重複した説明は省略する。本実施の形態に於ける位相シフター断面の仕様は第1の実施の形態での仕様($\varepsilon = 0.5$ 、 $h = \lambda / \{2(n-1)\}$)から大きくずらす。例えば、 $\varepsilon = 0.4$ 、 $\delta = 100$ 度とすると、(式11)、(式12)から $I_0 / I_1 = 2.03$ 、 $I_2 / I_1 = 0.095$ 、すなわち±1次回折光の強度和($I_1 + I_{-1}$)が0次、±2次回折光の強度和($I_0 + I_2 + I_{-2}$)にほぼ等しくなる。

図10の曲線10は $\varepsilon = 0.4$ 、 $\delta = 100$ 度の条件で、 10λ 離れた感光膜上での光強度分布を示してお

り、 $\lambda = 0.4579\mu\text{m}$ 、凹凸構造を $\Lambda = 1.0\mu\text{m}$

の矩形状(破線11で表示)として解析した計算結果である。±1次と0次、±1次と±2次回折光の干渉で、シフターと等ピッチ($1.0\mu\text{m}$ ピッチ)の強度分布パターンが得られている。

【0085】本実施の形態における周期的構造の断面仕様の条件は緩く、±1次回折光(または奇数次回折光)の強度和を他の回折光(または偶数次回折光)の強度和と同レベル(例えば $1/2 \sim 2$ 倍)にするだけで、容易にシフターと等ピッチの干涉縞を形成できる。すなわち、本実施の形態ではシフターの半ピッチの干涉縞を形成できないが、断面形状に関する複雑な制限条件や±2次回折光の除去課題などの複雑な課題がなく、シフターの作製が容易になる。

【0086】尚、上記第1、2、3の実施の形態、及び最後の実施の形態では周期的凹凸構造のパターンをストライプ状(直線に沿った形状)として説明したが、円などの曲線に沿った周期パターン(即ち、繰り返し形成されたパターン)であってもよく、また、その凹部又は凸部のピッチが位置によって異なってもよく、凹凸構造の半ピッチ(または等ピッチ)の微細パターン露光が可能であるという効果は同様に得られる。

【0087】また、周期的凹凸構造の形成は、平行平板をエッティングする以外に平行平板に屈折率nの透明膜を成膜し、パターニングの後この膜をエッティングする方法

や、マスターを作製してUV樹脂により形状転写する方法もある。

【0088】また、位相シフターへの入射光は、垂直入射である必要はなく、斜入射であっても同等の効果が得られる。さらに、位相シフターは平行平板である必要はなく、出射側が周期的構造付きの平面でありさえすればよい。また、露光光源にレーザーを用いた例で説明したが、部分的コピーレントな光を放出する光源であってもよい。

【0089】また、本発明の板状部材は、上記各実施の形態では、位相シフターを有するレチクルであったが、これに限らず例え、位相シフターを備えていないレチクルであってもよい。

【0090】以上述べた様に、上記実施の形態によれば、複雑な光学系を用いずに、解像度の限界がピッチで $\lambda/2$ まで可能な高解像度の露光装置を容易に提供できる。また、ピッチが位置に依存するような複雑な露光パターンも歪みなく露光面に転写されるので、高精度の光学系を用いる必要はなく、露光基板の設定位置に多少の誤差があっても露光のコントラストが維持されるので、高価なステッパー（露光基板の移送系）を必要としない効果もある。

【0091】

【発明の効果】以上述べたところから明らかなように本発明は、露光面上の露光パターンのピッチを光源の波長以下に出来ると言う長所を有する。又、本発明は、パターンの露光を従来に比べて容易に出来ると言う長所を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態における露光装置の構成図

【図2】本発明の第1の実施の形態における露光装置の位相シフターの断面図

【図3】本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第1説明図で、

（A）は、 $z = \lambda$ の位置での、 x 座標に沿った光強度分布図

（B）は、 $x = 0 \mu m$ と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度の関係図

【図4】本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第2説明図で、

（A）は、 $z = \lambda$ の位置での、 x 座標に沿った光強度分布図

（B）は、 $x = 0 \mu m$ と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強

度の関係図

【図5】本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第3説明図で、
（A）は、 $z = \lambda$ の位置での、 x 座標に沿った光強度分布図

（B）は、 $x = 0 \mu m$ と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度の関係図

【図6】本発明の第1の実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布の特性を示す第4説明図で、

（A）は、 $z = \lambda$ の位置での、 x 座標に沿った光強度分布図

（B）は、 $x = 0 \mu m$ と $x = -0.4 \mu m$ に於ける光強度の関係図

【図7】本発明の実施の形態における露光装置の周期構造の周期と露光パターンの周期との関係を示す原理説明図

【図8】本発明の第2の実施の形態に於ける台形断面の周期的凹凸構造を透過する光の光路図

【図9】本発明の第3の実施の形態における台形断面の周期的凹凸構造を透過する光の光路図である。

【図10】本発明の一実施の形態における露光装置の感光膜上での光強度分布図

【図11】従来の露光装置の構成図

【図12】（A）は、従来の露光装置の原理図

（B）は、従来の露光装置における位相シフト法の原理図

【図13】従来の露光装置における他の位相シフト法の原理図

【図14】従来の露光装置における、位相シフター付きのレチクルを透過した光の光路図

【符号の説明】

1 … レーザー光源

2 … レーザー光

3 a, 3 b … 反射ミラー

4 … ビームエクスパンダー光学系

4 a … フォーカシングレンズ

4 b … コリメートレンズ

4 c … ピンホール

5 … 平行光束

6 … 位相シフター

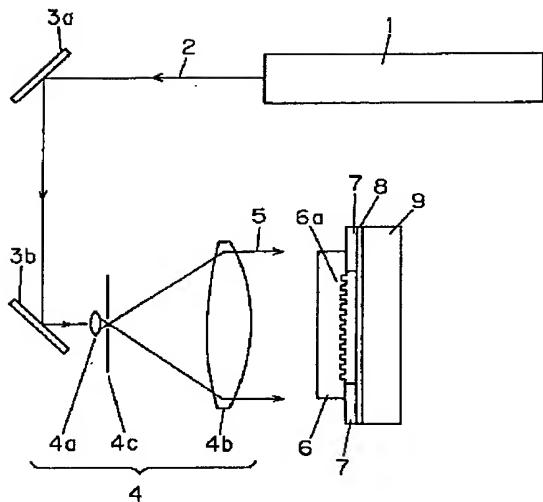
6 a … 周期的凹凸構造

7 … スペーサー

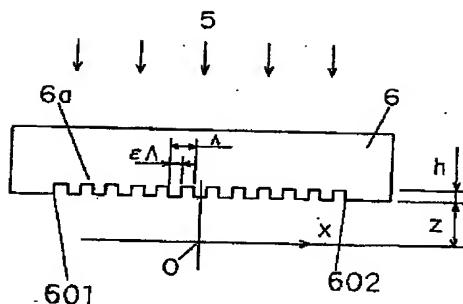
8 … 感光膜

9 … 露光基板

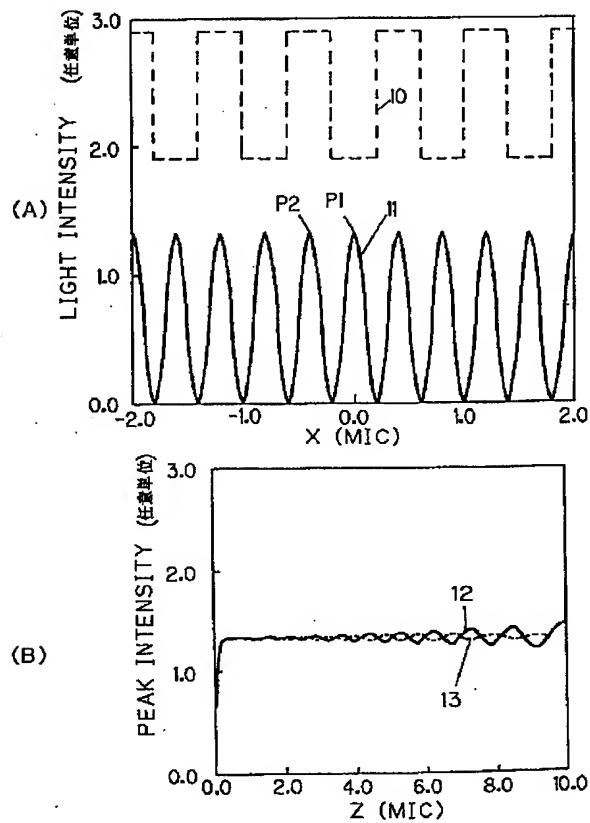
【図1】



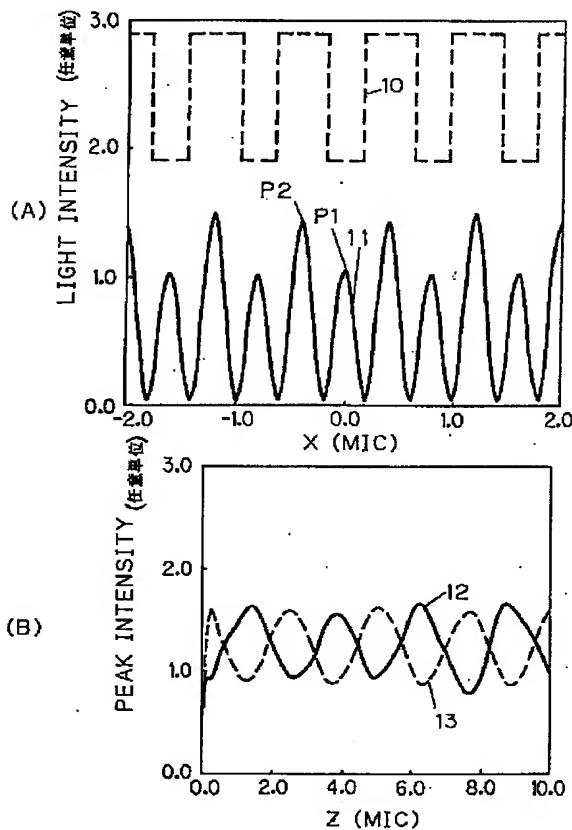
【図2】



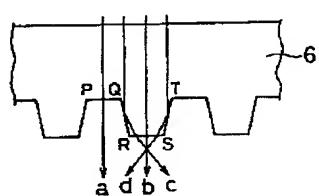
【図3】



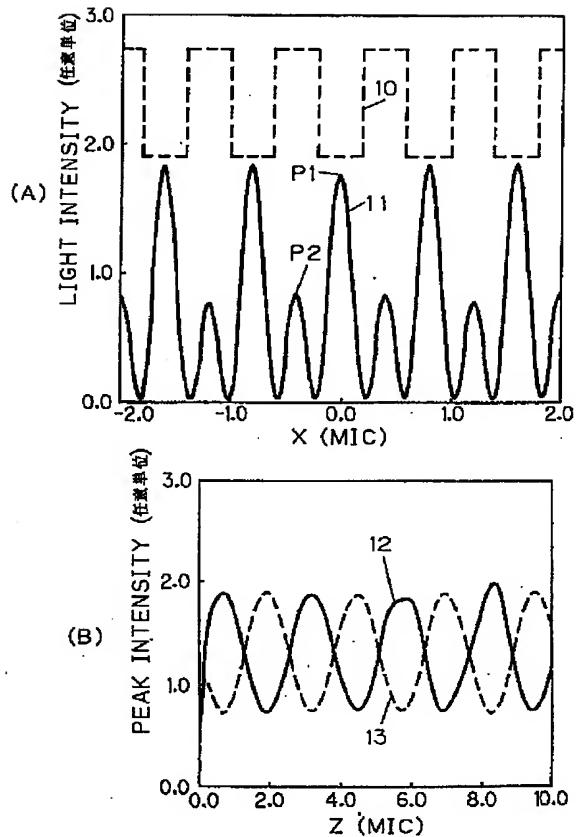
【図4】



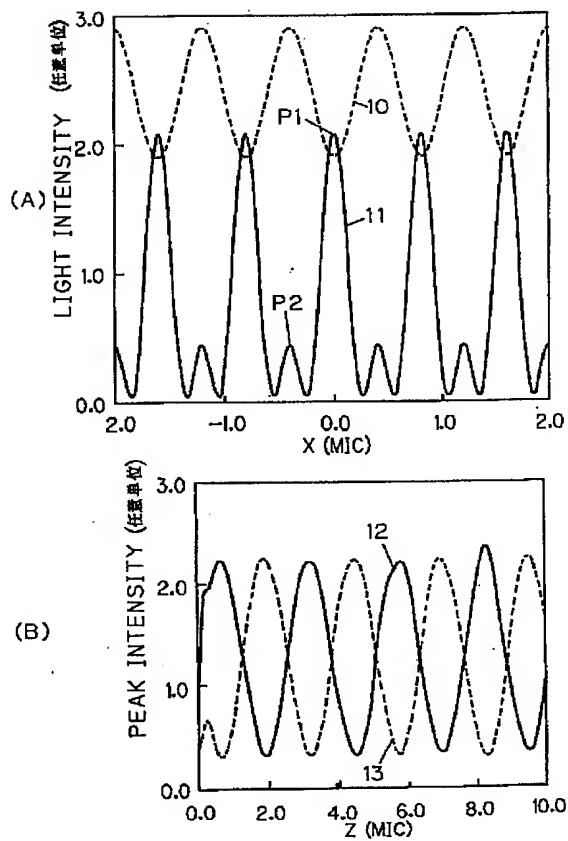
【図8】



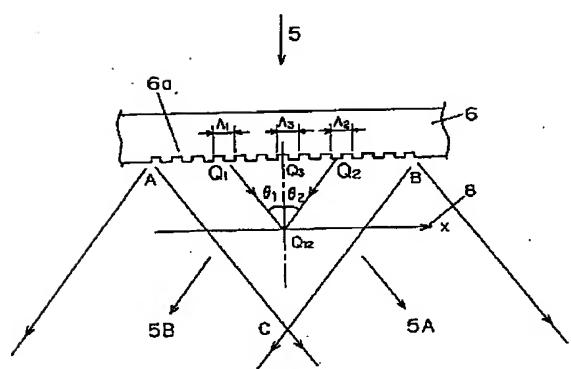
【図5】



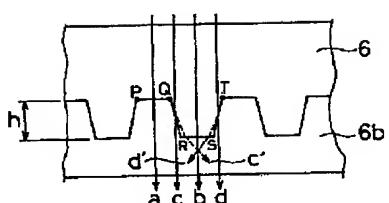
【図6】



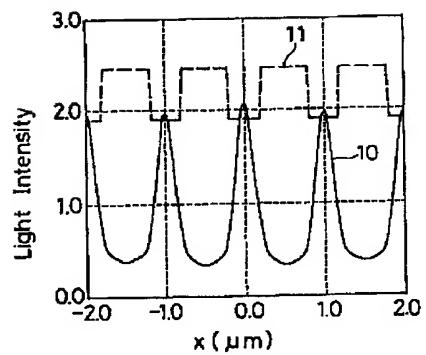
【図7】



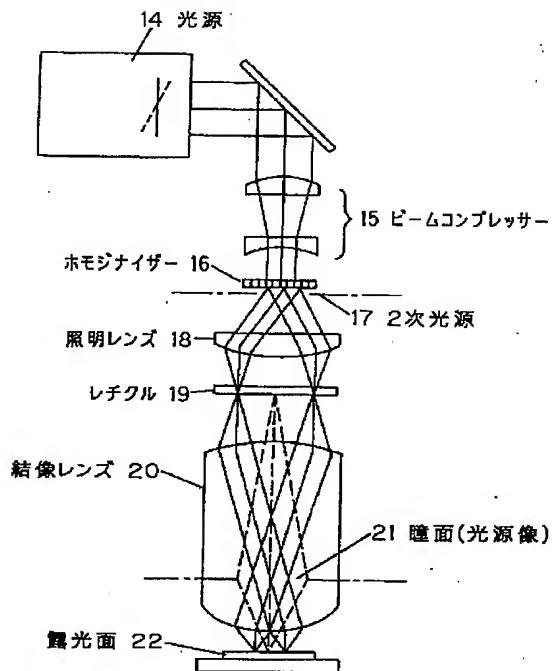
【図9】



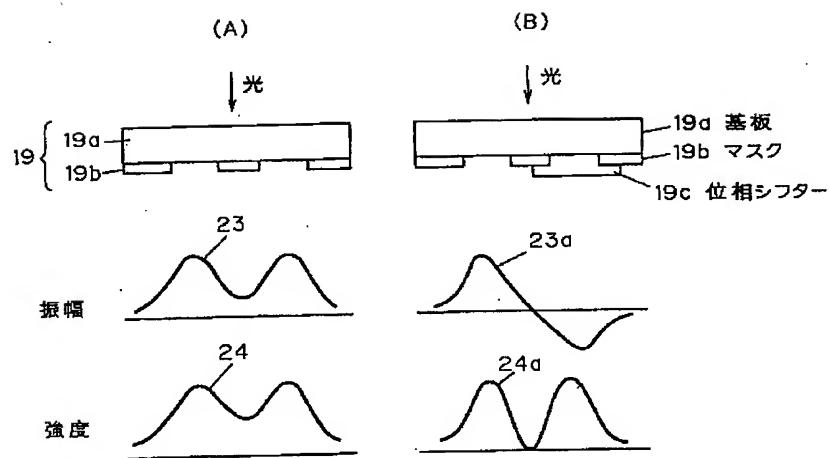
【図10】



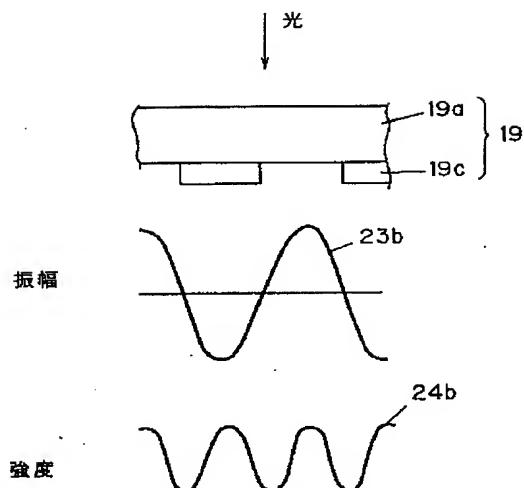
【図11】



【図12】



【図13】



【図14】

